

Следует отметить, что достаточно узкий температурный диапазон «источник – окружающая среда» предопределяет низкие термодинамические коэффициенты полезного действия геотермальных установок. Однако этот факт не препятствует их развитию в силу отсутствия потребности в органическом топливе, а также возможности их когенерационного использования в схемах комплексного электро- и теплоснабжения.

Список использованных источников

1. Белов Г. В., Дорохова М. А. Органический цикл Ренкина и его применение в альтернативной энергетике // Наука и образование. 2014. № 2. doi: 10.7463/0214.0699165
2. Li J., Pei G., Li Y., Wang D., Ji J. Energetic and exergetic investigation of an organic Rankine cycle at different heat source temperatures // Energy. 2012. Vol. 38. № 1. P. 85–95.
3. Kang S. H. Design and experimental study of ORC (organic Rankine cycle) and radial turbine using R245fa working fluid // Energy. 2012. Vol. 41. P.514–524.
4. Щеклеин С. Е., Стариков Е. В., Немихин Ю. Е, Никитин А. Д., Жуков А. В., Коржавин С.А. Экспериментальное исследование пародинамических систем охлаждения критических элементов в аварийных ситуациях // Альтернативная энергетика и экология. 2015. № 8-9. С. 86-92. doi: 10.15518/isjaee.2015.08-09.011

УДК 620.92

Никитин А. Д., Акифьева Н. Н.
Уральский федеральный университет
nikitin.a.d@yandex.ru

МОДЕЛЬ АВТОНОМНОЙ ВЕТРОТУРБИНЫ С ПЕРЕМЕННОЙ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ И РЕЗЕРВНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

Аннотация. Проведено математическое моделирование работы автономной системы, включающей ветровую турбину, асинхронный генератор, синхронный компенсатор, дизельный двигатель в качестве резервного источника и переменную регулируемую нагрузку. По результатам моделирования при номинальной мощности системы 275 кВт и линейном напряжении 380 В, колебания частоты при регулировании не превышают 1 Гц, колебания напряжения менее 15 В.

Одной из проблем ветроэнергетики является значительная неравномерность выработки энергии ветроустановкой (ВЭУ) в течение времени. Известно, что вырабатываемая ВЭУ мощность пропорциональна кубу скорости ветра, и, так как скорость ветра стохастически изменяется, то соответственно изменяется и мощность ВЭУ. В результате измерения выработки энергии ВЭУ нарушается баланс энергосистемы, в которой функционирует ВЭУ, вследствие чего изменяются частота и напряжение переменного тока в энергосистеме. Однако для нормальной работы потребителей электроэнергии необходимо поддерживать частоту и напряжение постоянными и равными регламентированным значениям.

Особенно остро данная проблема стоит в автономных системах, где источником энергии являются только ВЭУ, и источники других видов не могут скомпенсировать изменение энергетического баланса.

Простым решением этой проблемы, которое может использоваться в том числе в системах с большой установленной мощностью, является использование дополнительной переменной нагрузки для потребления избыточной энергии. В качестве дополнительной нагрузки может использоваться набор электрических тэнов различной мощности, нагревающих воду для отопления или горячего водоснабжения.

В качестве основы для моделирования из библиотеки MATLAB Simulink взята модель автономной ветровой турбины с асинхронным генератором, разработанная в Hydro-Quebec. Исходная модель состоит из следующих элементов: ветровой турбины, заданной в виде таблицы зависимости крутящего момента на валу турбины от скорости ветра и угловой скорости вращения вала генератора; асинхронного генератора мощностью 275 кВА; синхронного компенсатора мощностью 300 кВА с регулятором возбуждения; компенсирующей емкости с реактивной мощностью 75 кВАр; основной нагрузки мощностью 50 кВт; регулирующей нагрузки переменной мощности от 0 до 447 кВт, состоящей из восьми ступеней, мощность первой ступени равна 1,75 кВт, мощность каждой последующей ступени вдвое больше мощности предыдущей. Ступени нагрузки включаются по сигналу от регулятора частоты, в основе которого лежит дискретный пропорционально-интегрирующий контроллер, выходной сигнал которого преобразуется в двоичный восьмибитовый сигнал, управляющий подключением регулирующей нагрузки (каждый бит управляет ключом для отдельной ступени нагрузки).

При отладке в модели сделаны следующие изменения. Во-первых, таблица, используемая для моделирования ветровой турбины, заменена на элемент Wind Turbine из библиотеки Simulink, что позволяет применять модель для исследования работы любых ветротурбин. Во-вторых, в структуру модели включен дизельный двигатель и система управления его подключением. Двигатель моделируется как источник постоянного момента на валу асинхронного генератора. Значение момента выбрано так, чтобы дизель обеспечивал мощность основной нагрузки (50 кВт). Дизель подключается в том случае, когда мощность ветротурбины недостаточна для обеспечения основной нагрузки. Кроме этого, при высокой скорости ветра ветротурбина в целях безопасности отключается, и для обеспечения основной нагрузки подключается дизель.

Схема отлаженной модели изображена на рис. 1.

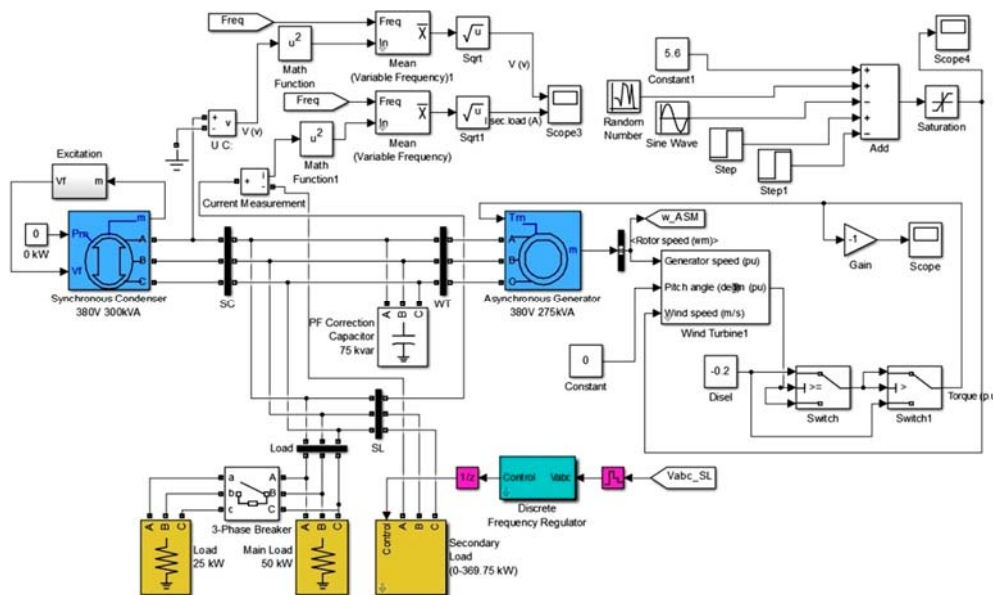


Рис. 1. Схема отлаженной модели

Скорость ветра (рис. 2) задавалась с помощью модели, согласно которой скорость равняется сумме сигналов постоянного источника, равного среднегодовой скорости ветра в заданной местности, источника-генератора случайных чисел по нормальному распределению, синусоидального источника, создающего плавное изменение скорости ветра, и двух ступенчатых источников, первая ступень значительно увеличивает скорость ветра, а вторая уменьшает до значений, близких к нулю. Кроме этого, т. к. скорость ветра не может быть отрицательной, результирующее значение фильтруется.

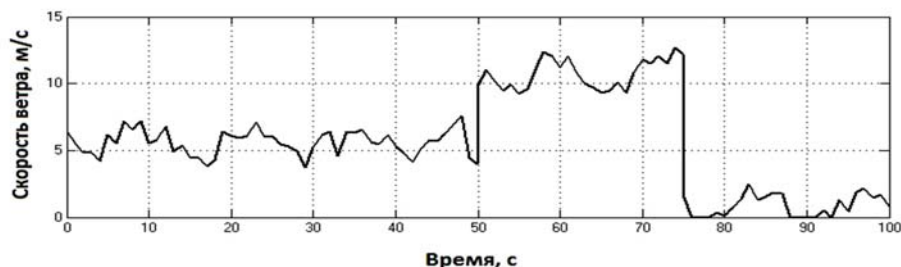


Рис. 2. Исходные данные скорости ветра

Результаты моделирования приведены на рис. 3–5.

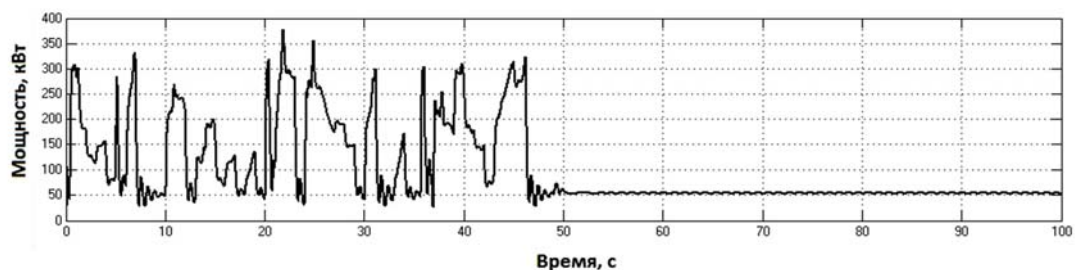


Рис. 3. Активная мощность, вырабатываемая асинхронным генератором

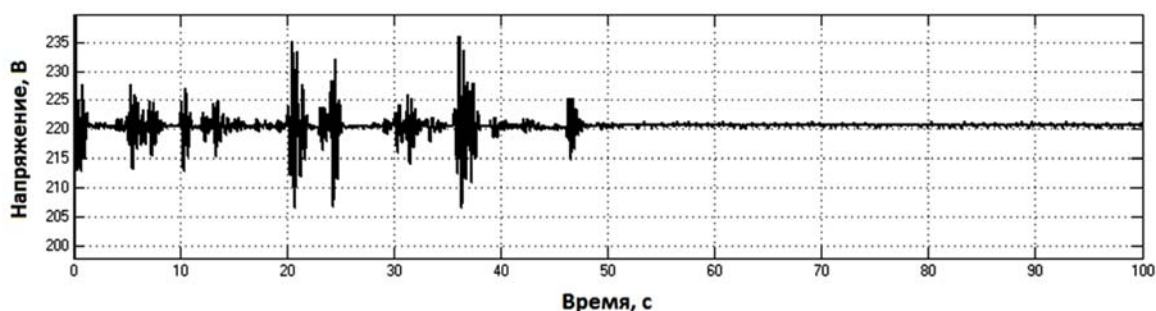


Рис. 4. Фазное напряжение на шине генератора

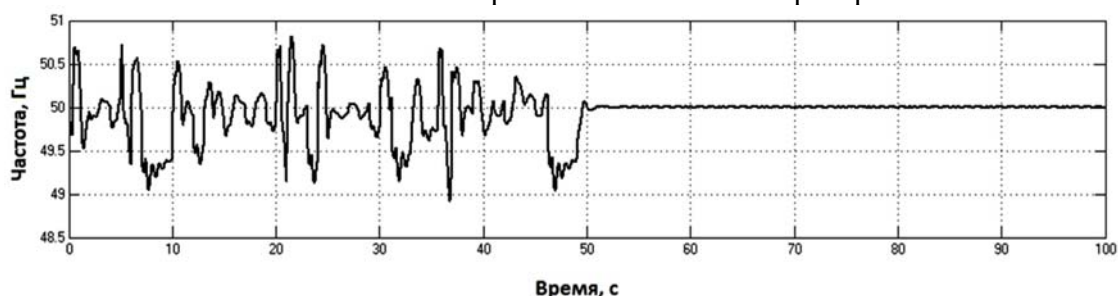


Рис. 5. Частота переменного тока в системе

Таким образом, по результатам моделирования системы мощностью 275 кВт, рассчитанной на скорость ветра 5,6 м/с, отклонения значений частоты от номинального значения 50 Гц не превышают 1 Гц, отклонения значений напряжения – менее 15 В. Возможно уменьшение отклонений при дальнейшей оптимизации модели. Согласно ГОСТ Р 54149–2010 отклонение частоты от номинального значения 50 Гц в изолированных энергосистемах должно быть менее 1 Гц, отклонения напряжения – менее 10 % от номинального (в данном случае – менее 22 В). Следовательно, смоделированная система регулирования обеспечивает выполнение требований к качеству электроэнергии.

УДК 620.92

Никитин А. Д., Щеклеин С. Е.
Уральский федеральный университет
nikitin.a.d@yandex.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШНЕКОВОЙ ВЭУ В УСЛОВИЯХ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Аннотация. Обобщены результаты эксплуатации в условиях г. Екатеринбург шнековой ветроэнергетической установки. Определена эффективность работы ВЭУ. Описаны недостатки данной конструкции ВЭУ, выявленные в ходе эксплуатации.